

УДК 537.871.3

Грабчиков С. С., Грабчикова Е. А., Зубарь Т. Е., Панасюк М. И, Канафьев О. Д.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАГНИТОСТАТИЧЕСКОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ НИКЕЛЬ–ЖЕЛЕЗО

ГО "НПЦ НАН Беларуси по материаловедению", Минск, Республика Беларусь

В настоящей работе исследована эффективность экранирования магнитостатических полей покрытиями на основе сплавов $Ni_{80}Fe_{20}$ с целью разработки высокоэффективной защиты приборов и аппаратуры широкого спектра назначения.

Над решением проблемы защиты изделий электронной и радиоэлектронной техники, биологических объектов, информации от воздействия различного типа внешних электромагнитных полей (ЭМП) работают ведущие специалисты многих стран мира [1-3]. Одним из наиболее сложных случаев защиты от воздействия внешних ЭМП является случай экранирования статических магнитных полей [10]. Это связано с тем, что в данном случае основную роль играет магнитная составляющая ЭМП, которая обладает гораздо более высокой проникающей способностью, чем электрическая составляющая [1,2]. Для экранирования магнитостатических полей обычно используют магнитомягкие материалы (электротехническая сталь, пермаллой, аморфные сплавы). Для достижения приемлемой эффективности требуется значительная масса этих материалов, при этом технологический процесс изготовления экранов заданной конфигурации очень сложен.

Методика эксперимента

Покрытия на основе сплавов $Ni_{80}Fe_{20}$ были сформированы методом электролитического осаждения на цилиндрических образцах из алюминия с внешним радиусом 22,5 мм и максимальной длиной 300 мм. Толщина сплавов $Ni_{80}Fe_{20}$ (d) составляла 50; 100; 130; 150; 200 и 400 мкм. Для исследования влияния длины цилиндра на эффективность экранирования от образца длиной 300 мм последовательно отрезали 40 мм и проводили измерения характеристик.

Оценка эффективности экранирования (\mathcal{E}) проводилась по результатам измерений отношения напряженностей магнитного поля в защищаемой области пространства при отсутствии экрана H и при наличии его H_1 [2].

Установка для исследования эффективности магнитостатического экранирования состояла из трех взаимно перпендикулярных катушек Гельмгольца, индуцирующих трехкомпонентное постоянное магнитное поле напряженностью от 0 до 5500 А/м. Расчет \mathcal{E} производился на основе измерений величины э.д.с. Холла без экрана (E) и с экраном (E_1), проведенных с помощью калиброванного элемента Холла чувствительностью 1 мВ/30 Э.

Для количественной оценки исследованных материалов использовали параметры, взятые из кривых зависимости $\mathcal{E} = \mathcal{E}(H)$, – напряженность магнитного поля, соответствующего максимальной эффективности экранирования (H_{\max}), максимальная эффективность экранирования (\mathcal{E}_{\max}).

Измерения статических магнитных характеристик сплавов $Ni_{80}Fe_{20}$ проведены баллистическим методом [4] на образцах кольцевой формы с внешним диаметром 45 мм и внутренним диаметром 25 мм. Толщина образцов составляла 20, 50, 100 и 200 мкм.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Кольцевые образцы сплавов $Fe_{20}Ni_{80}$ характеризовались следующими значениями максимальной магнитной проницаемости $\mu \approx (1,0 \div 1,37) \times 10^4$, магнитной индукции насыщения $B_s \approx 0,7$ Т, остаточной индукцией насыщения $B_r = 0,47$ и коэрцитивной силы $H_c = 25$ А/м. С ростом толщины покрытий от 20 до 200 мкм значения μ уменьшается от $1,37 \times 10^4$ до $1,05 \times 10^4$, значения H_{\max} смещаются от 50 до 40 А/м.

Обычно, при рассмотрении магнитоэкранирования, исходят из принципа шунтирования магнитного поля ферромагнитным материалом [1, 5]. Основная суть данного принципа заключается в замыкании силовых линий через материал с низким сопротивлением магнитному потоку. Согласно данному подходу, эффективность экранирования константа и прямо пропорциональна значениям μ материала экрана и обратно пропорциональна площади его поперечного сечения. Для бесконечного цилиндрического экрана расчет эффективности экранирования проводят по формуле [6]:

$$\mathcal{E}_{\text{цил.}} = 0,57\mu d/r \quad (1)$$

где d – толщина экрана [мм]; r – внешний радиус [мм].

На рисунке 1 представлены зависимости $\mathcal{E} = \mathcal{E}(H)$ для экранов на основе сплавов $Fe_{20}Ni_{80}$ с внешним радиусом 22,5 мм, длиной 300 мм и различными толщинами. Как следует из теории, с уменьшением радиуса и увеличением толщины экранов эффективность возрастает. Однако, как видно из рис. 1, зависимость эффективности от толщины имеет нелинейный характер. При изменении толщины экранов с внешним радиусом 22,5 мм в последовательности 50; 100; 200 и 400 мкм значения \mathcal{E}_{max} увеличиваются 25; 32; 150 и 380, соответственно; а значения $H_{\mathcal{E}\text{max}}$ смещаются в сторону более высоких полей 10-12Э; 24-26Э; 50-54Э и 90-100Э, соответственно.

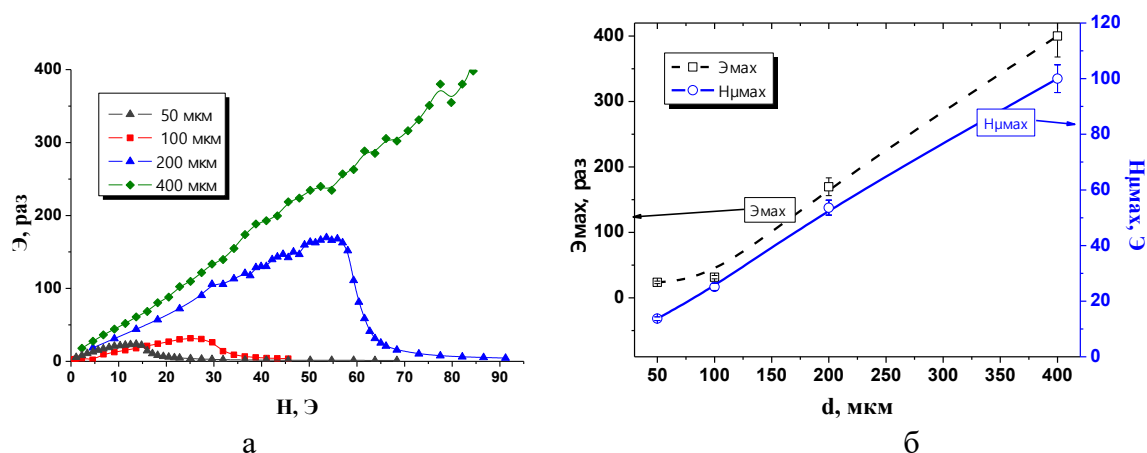


Рисунок 1 – Зависимости \mathcal{E} от напряженности магнитного поля (а) и \mathcal{E}_{max} и $H_{\mathcal{E}\text{max}}$ от толщины (б) покрытий на основе сплавов $Fe_{20}Ni_{80}$ с радиусом 22,5 мм.

Обобщенные результаты зависимостей \mathcal{E}_{max} и $H_{\mathcal{E}\text{max}}$ от толщины для однослойных цилиндрических экранов на основе сплавов $Fe_{20}Ni_{80}$ с внешним радиусом 22,5 мм представлены на рис. 2. Расширение областей магнитных полей с высокой экранирующей способностью с ростом толщины связано с увеличением сечения магнитных экранов и нелинейным характером изменения магнитной проницаемости с толщиной.

Как известно [5], в теоретических расчетах эффективности экранирования обычно используют идеальные геометрической формы образцов (бесконечная плоскость и бесконечный цилиндр, сфера). В реальных условиях ситуация намного сложнее – корпуса, блоки, которые необходимо экранировать, имеют конечные размеры, неправильную форму и могут содержать отверстия и апертуры. В связи с этим для практических целей важно знать, как размер экрана влияет на характеристики \mathcal{E}_{max} и $H_{\mathcal{E}\text{max}}$. На рисунке 2 приведены зависимости \mathcal{E}_{max} и $H_{\mathcal{E}\text{max}}$ от длины цилиндрического экрана (l) с радиусами 22,5 мм. Как видно, параметры \mathcal{E}_{max} и $H_{\mathcal{E}\text{max}}$ становятся весьма стабильными при значениях $l \geq 18-20$ см. При значениях $l < 15$ см эффективность экранирования заметно снижается. Так, например, значения \mathcal{E}_{max} образца длиной 6 см в 2 раза ниже, чем для образца длиной 26-30 см. При этом $H_{\mathcal{E}\text{max}}$ смещается в область более низких полей с 44 до 26 Э. Полученный результат связан с эффектом затекания магнитного поля в открытый образец конечного размера. Таким образом, для снижения влияния размерного эффекта цилиндрических и близких к ним по форме экранов необходимо, чтобы соотношение $l/r \geq 8 \div 9$.

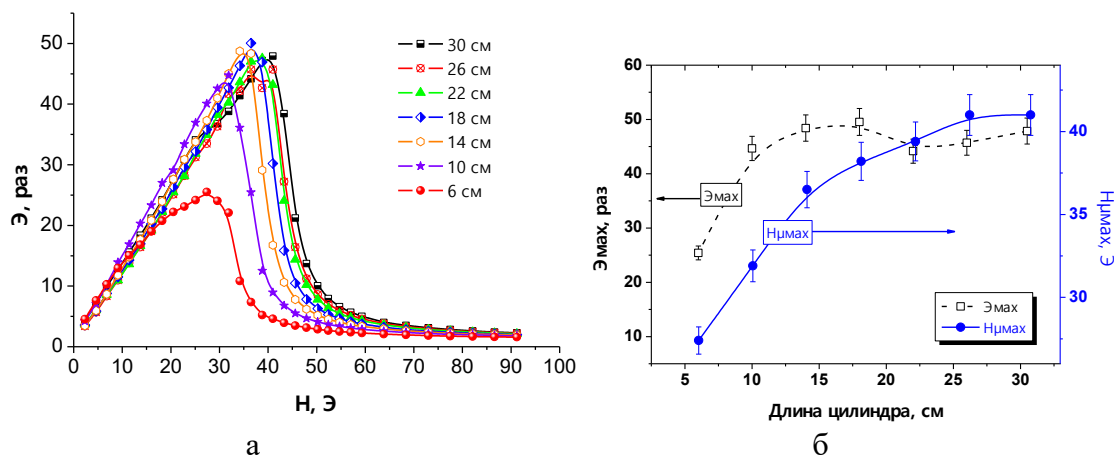


Рисунок 2 – Зависимости параметров Δ (а) и $\Delta_{max}; H_{\Delta_{max}}$ (б) от длины цилиндрических экранов на основе сплавов $Fe_{20}Ni_{80}$ с радиусом 22,5 мм

Выводы

Теоретические оценки эффективности экранирования, полученные по формуле (1) для бесконечного цилиндра, не соответствуют экспериментальным данным, полученным для конечного цилиндрического образца:

- эффективность экранирования является сложной функцией ряда параметров – напряженности внешнего магнитного поля, магнитной проницаемости, линейных размеров экранов и др.;

- с ростом толщины покрытий сплавов $Fe_{20}Ni_{80}$ наблюдаются эффекты увеличения Δ_{max} и сдвиг в сторону больших магнитных полей $H_{\Delta_{max}}$, т.е. расширения диапазонов магнитных полей с высокой экранирующей способностью;

- снижения влияния размерного эффекта цилиндрических и близких к ним по форме экранов за счет затекания магнитного практически отсутствует при соотношении $l/r \geq 8 \div 9$.

Полученные результаты планируются использовать при изготовлении экранов для защиты чувствительных элементов различного типа приборов.

Список литературы

1. Чернушенко, А. М. / Конструкции СВЧ устройств и экранов. А. М. Чернушенко. – М.: Радио и связь, 1983. – 400с.
2. Л. Н. Кечиев, Б. Б. Акбашев, П. В. Степанов. Экранирование технических средств и экранирующие системы. Из-во: «Группа ИТД» М. – 2010. – 470с.
3. Electromagnetic interference shields for electronic devices: pat. USA / J.F. Gabower — № 7 358 447 15.04.2008.
4. Ю. В. Глонягин Элементы теории и расчета магнитостатических полей ферромагнитных тел. Л.: Судостроение, – 1967. – 180с.
5. Электрические и магнитные измерения. под ред. Е. Г. Шрамкова, 1937, из-во НКТП СССР, Ленинград. – С. 585.
6. М. Л. Волин. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Радио и связь, 1981. – 296с.